

SLOPE STABILITY ANALYSIS BASED ON ROCK MASS CHARACTERIZATION IN OPEN PIT MINE METHOD

Eko Santoso¹⁾, Romla Noor Hakim¹⁾, Adip Mustofa¹⁾

eko@unlam.ac.id

⁽¹⁾ Staf Pengajar *Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat*

Ringkasan

Kegiatan analisis kestabilan lereng berhadapan dengan beberapa permasalahan, diantaranya adalah permasalahan pada penentuan input properties serta pendekatan model yang akan digunakan. Oleh sebab itu, proses evaluasi performa suatu lereng menjadi susah untuk diprediksi secara pasti. Analisis kestabilan lereng pada umumnya menggunakan konsep nilai faktor keamanan (FK) dengan menggunakan input properties batuan utuh. Maka pada penelitian ini menawarkan sebuah metode analisis kestabilan lereng pada tambang terbuka berdasarkan karakterisasi massa batuan serta permodelan menggunakan input properties massa batuan dari pendekatan kriteria runtuh *Generalized Hoek & Brown* seperti yang diusulkan oleh Hoek, Kaiser dan Bawden (1995). Penelitian ini diawali dengan proses pengklasifikasian massa batuan dengan menggunakan sistem klasifikasi massa batuan RMR (*Rock Mass Rating*) dan GSI (*Geological Strength Index*). Proses selanjutnya adalah estimasi kekuatan massa batuan (*rock mass strength*) pada lereng tambang terbuka (Hoek, Carranza-Torres & Corkum, 2002). Dari hasil analisis stabilitas lereng baik menggunakan metode kesetimbangan batas maupun metode elemen hingga pada daerah penelitian, keduanya memperlihatkan nilai rata-rata $FK < 1$, hal ini mengindikasikan lokasi tersebut relatif tidak stabil dan kemungkinan besar terjadi keruntuhan. Penelitian ini menunjukkan bahwa analisis kestabilan lereng dengan menggunakan pendekatan karakterisasi massa batuan layak untuk dipertimbangkan, mengingat kondisi lereng yang dilakukan analisis saat ini telah mengalami kelongsoran mendekati hasil analisisnya.

Kata Kunci: Analisis, Kestabilan Lereng, Karakterisasi Massa Batuan, RMR, GSI
Kriteria Runtuh *Generalized Hoek & Brown*

1. PENDAHULUAN

Metode penambangan *open pit* dicirikan dengan bentuk tambang berupa corong (kerucut terbalik), hal ini terjadi sebagai akibat dari aktivitas pengupasan dan penggalian untuk mendapatkan bijih yang dilakukan dengan membuat jenjang-jenjang penambangan. Karenanya permasalahan kestabilan lereng memerlukan perhatian yang mendalam guna mengoptimalkan penambangan pada metode ini. Analisis kestabilan lereng tambang merupakan suatu kegiatan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan serta unjuk kerja atau performa suatu lereng. Metode yang secara umum banyak digunakan adalah pendekatan konsep nilai faktor keamanan (FK) dengan menggunakan input properties batuan utuh, mengingat dari segi keekonomisan dan kepraktisan pengaplikasiannya. Namun metode ini juga belum mampu memprediksi performa suatu lereng secara pasti.

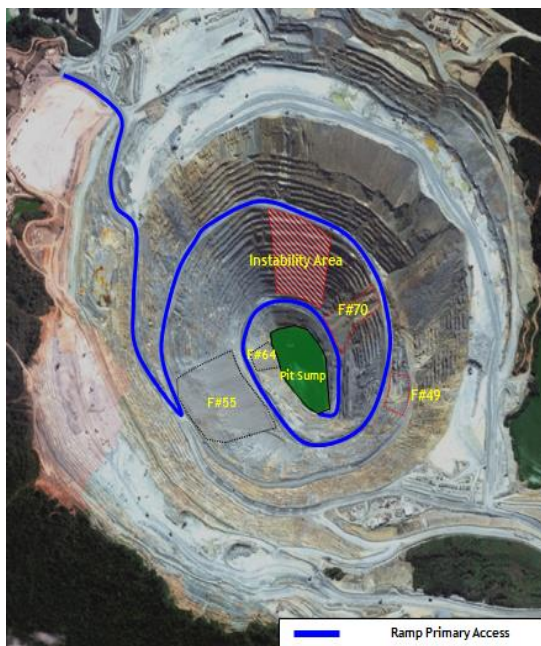
Menurut A. Karzulovic dan J. Read (2009), model kelongsoran pada lereng batuan

tambang terbuka secara garis besar dibagi menjadi tiga. Model kelongsoran yang pertama dikontrol oleh keberadaan struktur geologi sebagai bidang lemah dan ini banyak dijumpai pada skala *single slope*. Yang kedua adalah model longsor yang dikontrol oleh kombinasi dari adanya keberadaan struktur geologi dan juga kondisi massa batuan yang lemah. Selanjutnya yang terakhir adalah model kelongsoran yang sepenuhnya dikontrol oleh kondisi massa batuan yang lemah. Model longsor yang kedua dan yang ketiga bisa terjadi pada skala *inter-ramp* hingga *overall slope*. Untuk model longsor yang dikontrol oleh kondisi massa batuan yang lemah diperlukan suatu pendekatan berdasarkan kekuatan massa batuan dalam analisisnya (Mah, C.W & Willie, D.C. 2004).

Lokasi penelitian dilakukan pada lereng tambang terbuka dengan skala *inter-ramp slope* (*multi-bench*) mencakup area bench 90 mRL hingga -120 mRL seperti terlihat pada Gambar 1, yang mengindikasikan adanya ketidakstabilan lereng dengan ditandai kemunculan dan perkembangan *tension crack*

pada bench 90 mRL. Munculnya ketidakstabilan terdeteksi pula dari data monitoring lereng yang menunjukkan adanya pergerakan sebesar 0.6 mm/hari pada area tersebut. Berdasarkan hasil karakterisasi massa batuan diketahui jika pada lokasi penelitian memiliki kelas massa batuan yang lemah (Nilai RMR < 40) dan memungkinkan terjadinya longsoran massa batuan (Hoek et al, 2000).

Berdasarkan hipotesa-hipotesa yang telah disebutkan di atas dan menimbang kondisi aktual lapangan. Oleh sebab itu, maka pada penelitian ini kegiatan analisis kestabilan lereng dilakukan dengan suatu metode pendekatan karakterisasi massa batuan serta permodelan menggunakan input properties massa batuan. Proses estimasi kekuatan massa batuan menggunakan pendekatan seperti yang diusulkan oleh Hoek, Kaiser dan Bawden (1995) serta Hoek, Carranza-Torres & Corkum (2002), yaitu melalui kriteria runtuh *Generalized Hoek & Brown* untuk massa batuan yang terkekarkan. Kajian pendekatan karakterisasi massa batuan dalam proses analisis kestabilan lereng ini diharapkan mampu menjawab permasalahan-permasalahan geoteknik serta menambah pemahaman seputar mekanisme kelongsoran lereng pada tambang terbuka

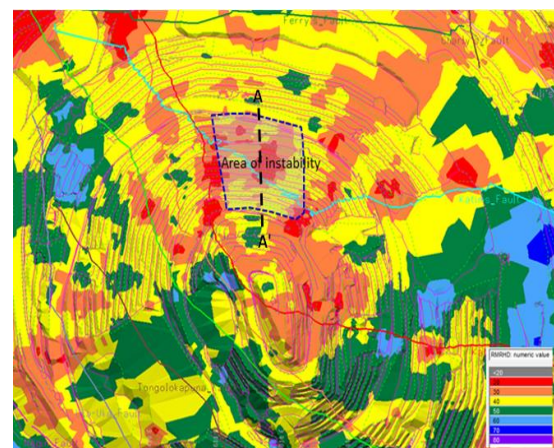


Gambar 1. Lokasi ketidakstabilan dinding utara pit

2. METODE PENELITIAN

Karakterisasi Massa Batuan

Karakterisasi massa batuan adalah proses pengklasifikasian massa batuan dengan cara melakukan observasi yang berhubungan dengan geometri dan kondisi bidang diskontinu (Saptono, 2012). Pada penelitian ini klasifikasi massa batuan yang digunakan adalah klasifikasi *Rock Mass Rating* atau RMR (Bieniawsky, 1989) dan *Geological Strength Index* atau GSI (Hoek, 1994). Lokasi penelitian berada pada satuan batuan vulkanik dan berdasarkan RMR blok model (Gambar 2) diketahui memiliki tiga kelas massa batuan yang berbeda, yaitu: kelas massa batuan sedang (RMR=40), Kelas massa batuan buruk (RMR=30) dan kelas massa batuan sangat buruk (RMR=20). Secara garis besar daerah tersebut menandakan berada pada kelas massa batuan lemah dan sangat terkekarkan.



Gambar 2. RMR blok model lokasi penelitian

Estimasi Propertis Massa Batuan

Lokasi penelitian yang berada pada kelas massa batuan yang sedang hingga sangat buruk mengindikasikan bahwa kondisi massa batuan sangat terkekarkan dan memungkinkan terjadinya keruntuhan massa batuan (Mah, C.W and Willie, D. C., 2004). Maka dari itu penelitian ini menggunakan pendekatan estimasi kekuatan massa batuan seperti yang diusulkan oleh Hoek, Kaiser dan Bawden (1995) dengan menggunakan persamaan kriteria runtuh *Generalized Hoek & Brown*:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left[m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} + s \right]^a$$

Keterangan :

σ'_1 = tegangan efektif prinsipal mayor saat runtuh (MPa)

σ'_3 = tegangan efektif prinsipal mayor saat runtuh (MPa)

σ_{ci} = kuat tekan uniaksila batuan utuh (MPa)

m_b = konstanta massa batuan Gen Hoek & Brown

s dan a = konstanta
Gen Hoek & Brown

Nilai konstanta m_b , s dan a dapat dihitung sebagai fungsi GSI (*Geological Strength Index*) dan faktor ketergantungan akibat peledakan (D) dapat dilihat pada Hoek (1998), Hoek & Karzulovic (2000) serta Hoek, Carranza-Torres & Corkum (2002). Ekuivalensi parameter Mohr-Coulomb, yaitu parameter kohesi dan sudut gesek dalam massa batuan menggunakan persamaan seperti yang diberikan oleh Hoek, Carranza-Torres & Corkum (2002) adalah sebagai berikut

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/(1+a)(2+a)}}$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

dimana berlaku untuk lereng dengan ketinggian (H) adalah sebagai berikut

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma_{ci}} ; \text{dimana berlaku : } \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

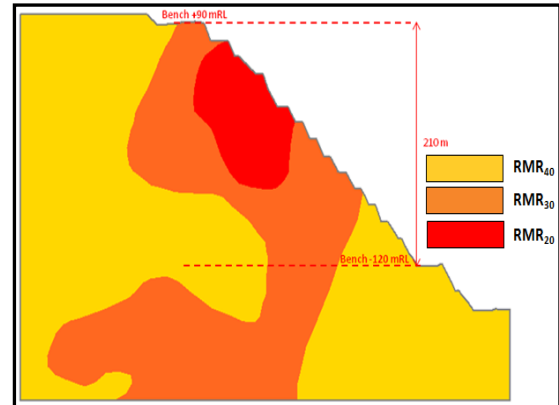
$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(\frac{m_b}{4} + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Modulus deformasi massa batuan diberikan didalam persamaan sebagai berikut

$$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}$$

Pendekatan Model Longsor

Pada tinjauan lapangan sebelum terjadinya longsor terindikasi terdapat fault pada belakang dan kanan kiri longsor dan diketahui juga jika lokasi penelitian berada pada kelas massa batuan lemah. Sehingga bisa dikatakan jika mekanisme longsor yang terjadi pada lokasi penelitian adalah sebuah mekanisme yang kompleks yang mungkin terjadi akibat kombinasi dua mekanisme longsor sekaligus, yaitu dikontrol oleh struktur geologi dan sekaligus oleh massa batuan yang lemah. Model longsor seperti ini menurut Hoek et al (2000) dan Sarma (1979) dapat didekati dengan menggunakan input propertis massa batuan dan model longsor *non-circular* pada metode kesetimbangan batas. Model lereng diambil pada potongan melintang (cross section) A-A' pada topografi RMR blok model, seperti terlihat pada Gambar. 3



Gambar 3. Cross section A-A' dengan litologi kelas massa batuan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Estimasi Properties Massa Batuan

Penggunaan kriteria runtuh *Generalized Hoek & Brown* untuk mengestimasi propertis massa batuan membutuhkan kombinasi input parameter batuan utuh hasil uji lab (parameter bobot isi, kuat tekan batuan utuh serta konstanta m_i hasil uji triaksial) dengan parameter massa batuan (parameter RMR atau GSI). Hasil karakterisasi terhadap parameter propertis batuan vulkanik utuh hasil uji laboratorium adalah sebagai berikut

Tabel 1. Hasil karakterisasi parameter batuan vulkanik intact

parameter Statistik	σ_{ci} (MPa)	Unit Weight (Kg/m ³)	Konstanta m_i (-)
Rata-rata	90.55	2719.99	13.15
Stand. Dev	48.57	81.67	3.98

Hasil karakterisasi parameter konstanta m_i batuan *vulkanik tuff* didapatkan nilai *mean* 13.15 dan standar deviasinya sebesar 3.98, nilai tersebut mendekati nilai yang diberikan oleh Hoek (2000) sebesar (13 ± 5) . Input parameter massa batuan RMR atau GSI pada kriteria runtuh *Generalized Hoek & Brown* menggunakan hubungan seperti yang diusulkan oleh Hoek, Kaiser dan Bawden (1995) yaitu $GSI = RMR_{89} - 5$, dengan faktor penyesuaian orientasi kekar = 0 dan dengan pendekatan kondisi kering (nilai RMR MAT = 15). Nilai GSI diasumsikan berdistribusi *normal* pada taraf nyata sebesar 90% pada nilai GSI sebesar 25 ± 5 (Hoek.1998). Distribusi nilai GSI pada lokasi penelitian dengan tiga kelas massa batuan yang berbeda adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Distribusi statistik nilai GSI

Katagori <u>Rock Mass</u>	Nilai GSI	
	Rata-rata	Stand. Dev
<i>Fair (sedang)</i>	35	2.5
<i>Poor (buruk)</i>	25	2.5
<i>Very Poor (sangat buruk)</i>	15	2.5

Perhitungan propertis massa batuan digunakan persamaan 2 sampai dengan persamaan 6, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil karakterisasi estimasi propertis massa batuan

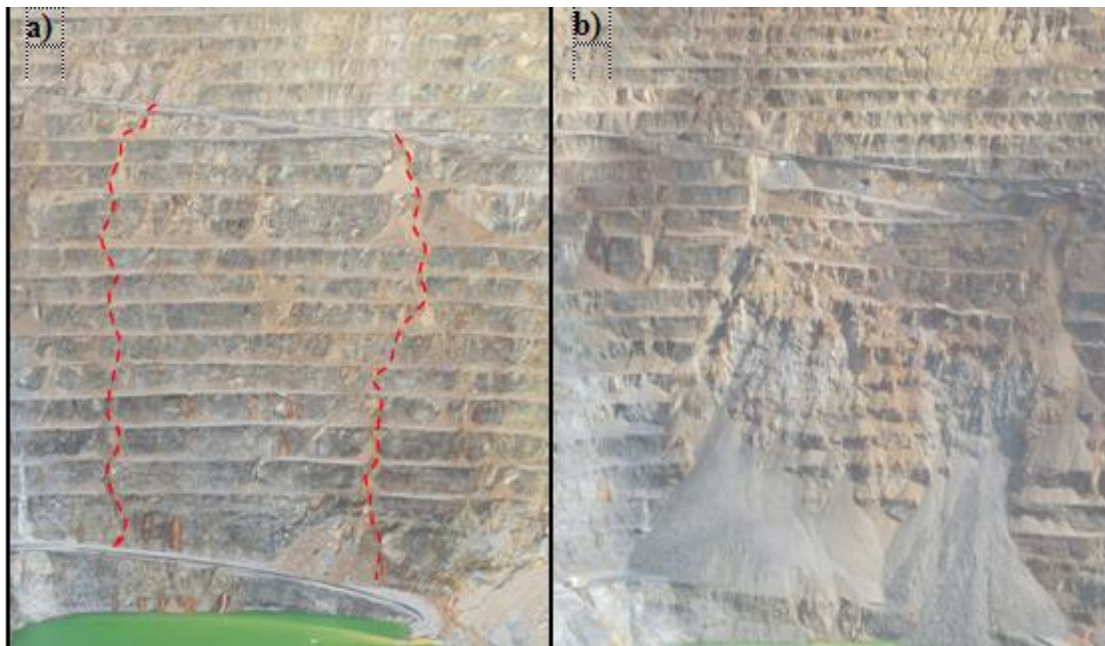
Rock Mass Lithology	Parameter Statistik	Generalized Hoek & Brown			Ekuivalensi Mohr-Coulomb			
		m_b	s	a	E_m (GPa)	σ_m (MPa)	c' (MPa)	ϕ' (°)
RMR ₄₀	Rata-rata	0.1273	2.08E-05	0.5163	1.9917	3.66	0.690	20.16
	Stand. Dev	0.0459	8.54E-06	0.0028	0.6416	2.17	0.366	7.66
RMR ₃₀	Rata-rata	0.0619	4.23E-06	0.5315	1.1116	2.41	0.461	15.21
	Stand. Dev	0.0230	1.78E-06	0.0054	0.3602	1.45	0.290	4.83
RMR ₂₀	Rata-rata	0.0317	7.70E-07	0.5618	0.6338	1.24	0.231	11.09
	Stand. Dev	0.0113	3.29E-07	0.0103	0.1989	0.79	0.189	3.76

Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng pada penelitian ini menggunakan dua pendekatan, yaitu metode kesetimbangan batas atau *Limit Equilibrium Method (LEM)* dan metode elemen hingga atau *Finite Elemen Method (FEM)*. Metode kesetimbangan batas dipilih karena kemudahan dan kepraktisan dalam

aplikasinya, selain itu metode ini juga menggunakan konsep nilai Faktor Keamanan (FK) dalam mengevaluasi performa suatu lereng yang mudah untuk dipahami. Metode elemen hingga merupakan metode numeris yang menggunakan konsep differensial yang mempertimbangkan adanya hubungan tegangan-regangan di dalam material. Evaluasi performa lereng pada metode elemen hingga menggunakan konsep *Strength Reduction Factor (SRF)* yang pertama kali dikembangkan oleh Zienkiewicz (1975). Baik metode LEM maupun metode FEM, didalam penelitian ini menggunakan pendekatan karakterisasi massa batuan yaitu menggunakan litologi massa batuan dan penggunaan pendekatan input parameter kekuatan massa batuan dalam permodelannya.

Hasil analisis kestabilan lereng metode kesetimbangan batas (LEM) didapatkan nilai rata-rata faktor keamanan (FK) sebesar 0.92 sedangkan metode elemen hingga (FEM) didapatkan nilai rata-rata SRF sebesar 0.77. Kedua metode tersebut didapatkan nilai rata-rata < 1, yang berarti bahwa kondisi lereng penelitian mengindikasikan ketidakstabilan dan berpotensi besar mengalami longsoran. Kondisi lereng aktual penelitian seperti terlihat pada Gambar. 4 saat ini telah mengalami longsoran.



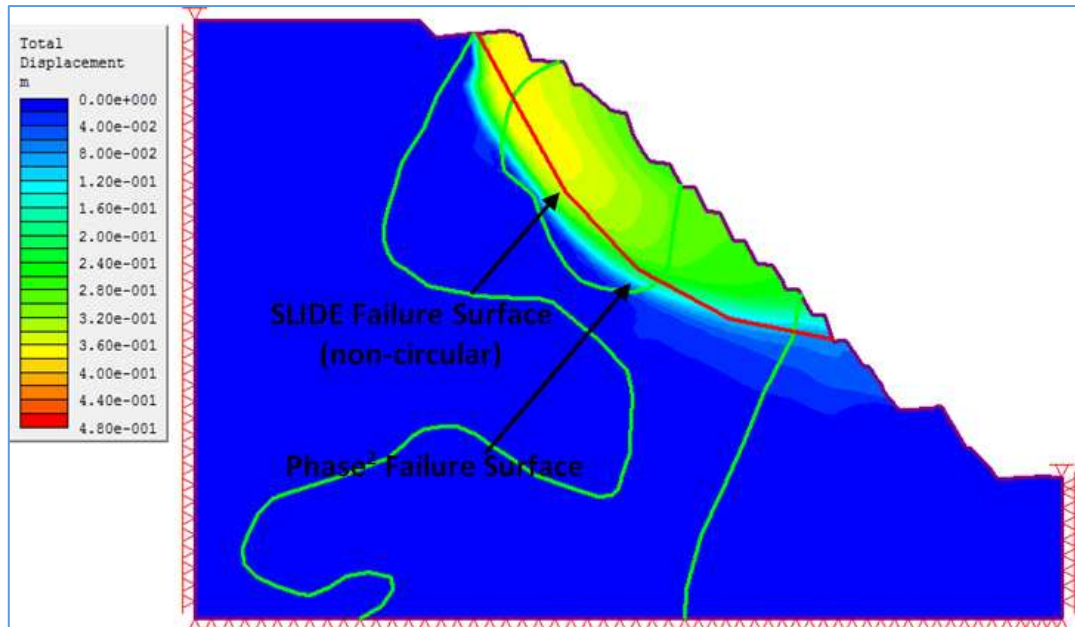
Gambar 4.(a) Sebelum terjadi longsoran (b) Sesudah terjadi longsoran pada lokasi penelitian

Terdapat perbedaan nilai hasil analisis kestabilan lereng antara metode FEM (*SLIDE*-FK) dan LEM (*Phase*²-SRF), dimana keduanya memiliki selisih sebesar 0.15. Perbedaan antara keduanya menurut *Chiwaye* dan *Stacey* (2010) adalah disebabkan oleh:

1. Pada permodelan *Phase*² mempertimbangkan parameter σ_t , rasio k , E dan ν ,

dimana semua parameter tersebut tidak terdapat pada *SLIDE* dan dapat menyumbang terhadap ketidakpastian nilai probabilitas kelongsoran.

2. Terdapat perbedaan geometri dan mekanisme longsor pada kedua metode analisis kestabilan lereng (Gambar 5), dan hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya perbedaan nilai probabilitas kelongsoran.



Gambar 5. Perbandingan geometri longsor antara *SLIDE* dan *Phase*²

4. KESIMPULAN

- a. Hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan pendekatan karakterisasi massa batuan, baik metode kesetimbangan batas (LEM) maupun metode elemen hingga (FEM) keduanya didapatkan nilai rata-rata < 1 , yang berarti lereng tidak stabil dan kondisi aktual lereng telah mengalami kelongsoran.
- b. Pendekatan input propertis massa batuan dan longsor non-circular pada metode kesetimbangan batas bisa dipertimbangkan pada analisis kestabilan lereng dengan kondisi massa batuan yang lemah

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ang, H.S., Tang, W.H. 1975." Probability Concepts in Engineering Planning and Design". Wiley, New York.
- [2] Baecher, G.B., And Christian, J.T. 2003." Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering". Wiley, Chichester, UK.
- [3] Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F. 1995."Support of Underground Excavations in Hard Rock". Rotterdam, Balkema.
- [4] Hoek, E. 1998." Faktor of Safety and Probability of Failure (Chapter 8)". Course notes, internet edition.
- [5] Hoek, E. 1998." Reliability of Hoek-Brown Estimate of Rock Mass Properties and their Impact on Design".Int. J. Rock Mech. Min Sci.
- [6] Hoek, E., Karzulovic, A. 2000."Rock Mass Properties for Surface Mines". Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), Littleton, Colorado.

- [7] Hoek et al. 2000."Rock Slope in Civil and Mining Engineering". International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne.
- [8] Hoek, E., Carranza-Torres, C. And Corkum, B.2002."Hoek-Brown Failure Criterion-2002 edition. Proc.North Am. Rock Mech. Soc. Meeting, Toronto, Canada.
- [9] Hammah, R.E. and Yacoub, T.E. 2009." Probabilistic Slope Analysis with the Finite Element Method". American Rock Mechanics Association.
- [10] Mah, C.W and Willie, D. C. 2004." Rock Slope Engineering 4th ed".Spoon Press, New York.
- [11] Tapia, A., Contreras, L.F., Jefferies. M.G., and Steffen, O.2007."Risk Evaluation of Slope Failure at ChuquicamataMine". Proc. Int. Symp. Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Perth. Australia.